

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-319069

(43)Date of publication of application : 04.12.1998

(51)Int.Cl.

G01R 29/08
G01R 31/28
G06F 17/00
G06F 17/14
G06F 17/50

(21)Application number : 09-090412

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 09.04.1997

(72)Inventor : OTSU SHINICHI
MUKAI MAKOTO

(30)Priority

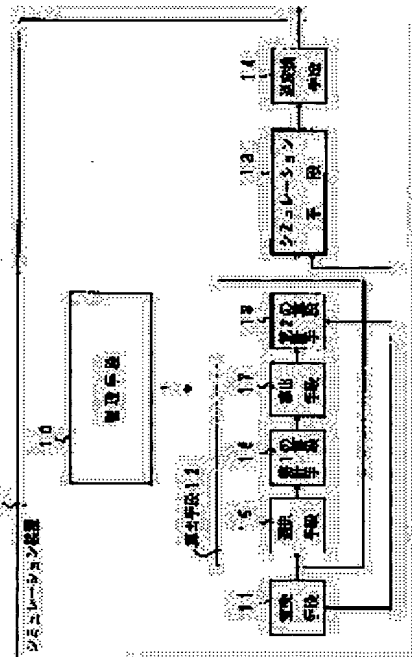
Priority number : 08 88213
09 62591Priority date : 10.04.1996
17.03.1997Priority country : JP
JP

(54) SIMULATION DEVICE AND METHOD USING MOMENT METHOD, AND PROGRAM STORAGE MEDIUM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a simulation device using moment method which speedily simulates electromagnetic strength or others in time region.

SOLUTION: This simulation device is provided with a transformation means 11 which provides frequency spectrum by digitizing time series data in a wave source and Fourier-transforms the data, a calculating means 12 which calculates mutual impedance at a sampling frequency, derives an approximate expression of mutual impedance from the mutual impedance and the sampling frequency, and calculates mutual impedance at each frequency provided by the transformation means 11 using it, and a simulation means 13 which derives current spectrum flowing through each element using moment method from the mutual impedance calculated by the calculating means 12 and the frequency spectrum derived by the transformation means 11, and then derives spectrum of voltage, electric field, or magnetic field, and an inverse transformation means 14 which inversely Fourier-transforms spectrum derived by the simulation means 13 and output the result.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

21.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3505062

[Date of registration] 19.12.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-319069

(43) 公開日 平成10年(1998)12月4日

(51) Int.Cl.⁶
G 0 1 R 29/08
31/28
G 0 6 F 17/00
17/14
17/50

識別記号

F I
G 0 1 R 29/08 Z
31/28 F
G 0 6 F 15/20 D
15/332 A
15/60 6 1 2 G

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全 38 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平9-90412
(22) 出願日 平成9年(1997)4月9日
(31) 優先権主張番号 特願平8-88213
(32) 優先日 平8(1996)4月10日
(33) 優先権主張国 日本 (J P)
(31) 優先権主張番号 特願平9-62591
(32) 優先日 平9(1997)3月17日
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005223
富士通株式会社
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号
(72) 発明者 大津 信一
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
(72) 発明者 向井 誠
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内
(74) 代理人 弁理士 岡田 光由 (外1名)

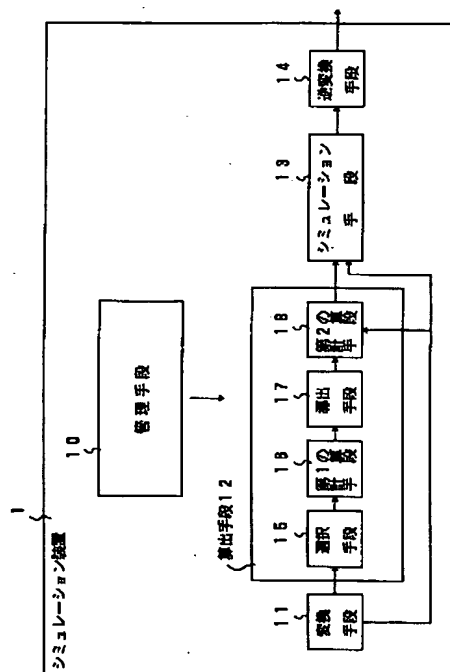
(54) 【発明の名称】 モーメント法を用いたシミュレーション装置及びシミュレーション方法並びにプログラム記憶媒体

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、時間領域での電磁界強度等を高速にシミュレートできるようにするモーメント法を用いたシミュレーション装置の提供を目的とする。

【解決手段】 波源の時系列データを離散化しフーリエ変換することで周波数スペクトルを得る変換手段11と、サンプリング周波数での相互インピーダンスを算出して、その相互インピーダンスとサンプリング周波数とから相互インピーダンスの近似式を導出し、それを使って変換手段11の得た各周波数での相互インピーダンスを算出する算出手段12と、算出手段12の算出した相互インピーダンスと、変換手段11の得た周波数スペクトルとから、モーメント法に従って各要素に流れる電流スペクトルを求めるとともに、それから、電圧や電界や磁界のスペクトルを求めるシミュレーション手段13と、シミュレーション手段13の求めたスペクトルを逆フーリエ変換して出力する逆変換手段14とを備えるように構成する。

本発明の原理構成図



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 電子機器を要素に分割し、周波数が与えられるときに、要素間の相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスと要素の持つ波源とからモーメント法に従って各要素に流れる電流をシミュレートするモーメント法を用いたシミュレーション装置において、

波源の時系列データを離散化しフーリエ変換することで周波数スペクトルを得て、その全て又は一部の周波数スペクトルと、それが持つ周波数とを処理対象として設定する変換手段と、

上記変換手段の設定した周波数を考慮してサンプリング周波数を選択し、該サンプリング周波数での相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスとサンプリング周波数とから相互インピーダンスの近似式を導出し、それを使って上記変換手段の設定した各周波数での相互インピーダンスを算出する算出手段と、

上記算出手段の算出した相互インピーダンスと、上記変換手段の設定した周波数スペクトルとから、モーメント法に従って各要素に流れる電流スペクトルを求めるシミュレーション手段と、

上記シミュレーション手段の求めた電流スペクトルを逆フーリエ変換して出力する逆変換手段とを備えることを、
特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション装置。

【請求項2】 電子機器を要素に分割し、周波数が与えられるときに、要素間の相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスと要素の持つ波源とからモーメント法に従って各要素に流れる電流をシミュレートするモーメント法を用いたシミュレーション装置において、

波源の時系列データを離散化しフーリエ変換することで周波数スペクトルを得て、その全て又は一部の周波数スペクトルと、それが持つ周波数とを処理対象として設定する変換手段と、

上記変換手段の設定した周波数を考慮してサンプリング周波数を選択し、該サンプリング周波数での相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスとサンプリング周波数とから相互インピーダンスの近似式を導出し、それを使って上記変換手段の設定した各周波数での相互インピーダンスを算出する算出手段と、

上記算出手段の算出した相互インピーダンスと、上記変換手段の設定した周波数スペクトルとから、モーメント法に従って各要素に流れる電流スペクトルを求めるとともに、要求に応じて、該電流スペクトルから、電圧スペクトルや電界スペクトルや磁界スペクトルを求めて、その求めたスペクトルの内の要求されるものを出力対象として設定するシミュレーション手段と、

上記シミュレーション手段の設定した出力対象のスペク

トルを逆フーリエ変換して出力する逆変換手段とを備えることを、

特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション装置。

【請求項3】 請求項2記載のモーメント法を用いたシミュレーション装置において、

シミュレーション手段は、導体間の電圧スペクトルを求める必要がある場合には、その電圧スペクトルを、該導体間に仮想的に挿入される抵抗により発生する電圧スペクトルを抵抗無限大とすることで導出される算出式に従って算出することを、

特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション装置。

【請求項4】 請求項2記載のモーメント法を用いたシミュレーション装置において、

シミュレーション手段は、伝送線路の端子の電流スペクトル又は電圧スペクトルを求める必要がある場合には、伝送線路を除いた形でモーメント法を実行し、それにより求まる各要素の電流スペクトルが該端子に与える電界を求めて、該電界を使い規定の算出式に従って、伝送線路の端子の電流スペクトル又は電圧スペクトルを算出することを、

特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション装置。

【請求項5】 請求項1ないし4記載のモーメント法を用いたシミュレーション装置において、

変換手段は、コンデンサにチャージされた初期電圧を波源として取り扱う必要がある場合には、該初期電圧の周期信号を離散化してフーリエ変換し、また、インダクタの初期電流を波源として取り扱う必要がある場合には、該初期電流の周期信号を離散化してフーリエ変換することを、

特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション装置。

【請求項6】 請求項1ないし5記載のモーメント法を用いたシミュレーション装置において、

算出手段は、相互インピーダンスに加えて、相互アドミッタンスと相互リアクションのいずれか一方又は双方についても同一の手法で算出し、

シミュレーション手段は、算出手段の算出した相互アドミッタンスや相互リアクションに合わせて、磁流スペクトルについても考慮しつつ処理を実行し、

逆変換手段は、シミュレーション手段に合わせて逆フーリエ変換を実行することを、

特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション装置。

【請求項7】 請求項1ないし6記載のモーメント法を用いたシミュレーション装置において、

算出手段は、要素iと要素jとの間の相互インピーダンス Z_{ij} を、

(3)

$$Z_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f^{-1} + b_1 f + b_2 f^3 + b_3 f^5 + b_4 f^7 + \dots)]$$

但し、 f ：周波数、 k ：波数、 r_0 ：要素 i と要素 j との間の距離、括弧部分の j ：虚数と近似することを、特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション装置。

【請求項 8】 請求項 6 記載のモーメント法を用いたシミュレーション装置において、算出手段は、要素 i と要素 j との間の相互アドミッタ Y_{ij} を、

$$Y_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f^{-1} + b_1 f + b_2 f^3 + b_3 f^5 + b_4 f^7 + \dots)]$$

但し、 f ：周波数、 k ：波数、 r_0 ：要素 i と要素 j との間の距離、括弧部分の j ：虚数と近似することを、特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション装置。

【請求項 9】 請求項 6 記載のモーメント法を用いたシミュレーション装置において、算出手段は、要素 i と要素 j との間の相互リアクション B_{ij} を、

$$B_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f + b_1 f^3 + b_2 f^5 + b_3 f^7 + b_4 f^9 + \dots)]$$

但し、 f ：周波数、 k ：波数、 r_0 ：要素 i と要素 j との間の距離、括弧部分の j ：虚数と近似することを、特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション装置。

【請求項 10】 電子機器を要素に分割し、周波数が与えられるときに、要素間の相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスと要素の持つ波源とからモーメント法に従って各要素に流れる電流をシミュレートするモーメント法を用いたシミュレーション装置において、

波源として、キャリア信号を変調するものが用いられる場合に、該波源を、キャリア信号の周波数と変調信号の周波数とから規定される異なる周波数を持つ 3 つの波源に分解する分解手段と、

上記分解手段の分解した各波源に対してモーメント法を適用することで、各要素に流れる周波数領域電流を求めるシミュレーション手段と、

上記シミュレーション手段の求めた周波数領域電流から時間領域電流を算出する算出手段とを備えることを、特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション装置。

【請求項 11】 請求項 10 記載のモーメント法を用い

4

たシミュレーション装置において、シミュレーション手段は、相互インピーダンスに加えて、相互アドミッタンスと相互リアクションのいずれか一方又は双方についても考慮してモーメント法を適用することで周波数領域磁流についても求め、算出手段は、シミュレーション手段の求めた周波数領域磁流から時間領域磁流についても算出することを、特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション装置。

10 【請求項 12】 電子機器を要素に分割し、周波数が与えられるときに、要素間の相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスと要素の持つ波源とからモーメント法に従って各要素に流れる電流をシミュレートするモーメント法を用いたシミュレーション方法において、

波源の時系列データを離散化しフーリエ変換することで周波数スペクトルを得て、その全て又は一部の周波数スペクトルと、それが持つ周波数とを処理対象として設定する第 1 の処理過程と、

20 第 1 の処理過程で設定した周波数を考慮してサンプリング周波数を選択し、該サンプリング周波数での相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスとサンプリング周波数とから相互インピーダンスの近似式を導出し、それを使って第 1 の処理過程で設定した各周波数での相互インピーダンスを算出する第 2 の処理過程と、第 2 の処理過程で算出した相互インピーダンスと、第 1 の処理過程で設定した周波数スペクトルとから、モーメント法に従って各要素に流れる電流スペクトルを求める第 3 の処理過程と、

30 第 3 の処理過程で求めた電流スペクトルを逆フーリエ変換して出力する第 4 の処理過程とを備えることを、特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション方法。

【請求項 13】 電子機器を要素に分割し、周波数が与えられるときに、要素間の相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスと要素の持つ波源とからモーメント法に従って各要素に流れる電流をシミュレートするモーメント法を用いたシミュレーション方法において、

40 波源の時系列データを離散化しフーリエ変換することで周波数スペクトルを得て、その全て又は一部の周波数スペクトルと、それが持つ周波数とを処理対象として設定する第 1 の処理過程と、

第 1 の処理過程で設定した周波数を考慮してサンプリング周波数を選択し、該サンプリング周波数での相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスとサンプリング周波数とから相互インピーダンスの近似式を導出し、それを使って第 1 の処理過程で設定した各周波数での相互インピーダンスを算出する第 2 の処理過程と、第 2 の処理過程で算出した相互インピーダンスと、第 1

(4)

5

の処理過程で設定した周波数スペクトルとから、モーメント法に従って各要素に流れる電流スペクトルを求めるとともに、要求に応じて、該電流スペクトルから、電圧スペクトルや電界スペクトルや磁界スペクトルを求めて、その求めたスペクトルの内の要求されるものを出力対象として設定する第3の処理過程と、
第3の処理過程で設定した出力対象のスペクトルを逆フーリエ変換して出力する第4の処理過程とを備えることを、
特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション方法。

【請求項14】 請求項12又は13記載のモーメント法を用いたシミュレーション方法において、
第2の処理過程で、相互インピーダンスに加えて、相互アドミタンスと相互リアクションのいずれか一方又は双方についても同一の手法で算出し、
第3の処理過程で、第2の処理過程で算出した相互アドミタンスや相互リアクションに合わせて、磁流スペクトルについても考慮しつつ処理を実行し、
第4の処理過程で、第3の処理過程に合わせて逆フーリエ変換を実行することを、
特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション方法。

【請求項15】 電子機器を要素に分割し、周波数が与えられるときに、要素間の相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスと要素の持つ波源とからモーメント法に従って各要素に流れる電流をシミュレートするモーメント法を用いたシミュレーション方法において、
波源として、キャリア信号を変調するものが用いられる場合に、該波源を、キャリア信号の周波数と変調信号の周波数とから規定される異なる周波数を持つ3つの波源に分解する第1の処理過程と、
第1の処理過程で分解した各波源に対してモーメント法を適用することで、各要素に流れる周波数領域電流を求める第2の処理過程と、
第2の処理過程で求めた周波数領域電流から時間領域電流を算出する第3の処理過程とを備えることを、
特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション方法。

【請求項16】 請求項15記載のモーメント法を用いたシミュレーション方法において、
第2の処理過程で、相互インピーダンスに加えて、相互アドミタンスと相互リアクションのいずれか一方又は双方についても考慮してモーメント法を適用することで周波数領域磁流についても求め、
第3の処理過程で、第2の処理過程で求めた周波数領域磁流から時間領域磁流についても算出することを、
特徴とするモーメント法を用いたシミュレーション方法。

6

【請求項17】 電子機器を要素に分割し、周波数が与えられるときに、要素間の相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスと要素の持つ波源とからモーメント法に従って各要素に流れる電流をシミュレートする構成を採るモーメント法を用いたシミュレーション装置を実現するプログラムが記憶されるプログラム記憶媒体であって、

波源の時系列データを離散化しフーリエ変換することで周波数スペクトルを得て、その全て又は一部の周波数スペクトルと、それが持つ周波数とを処理対象として設定する変換手段と、

上記変換手段の設定した周波数を考慮してサンプリング周波数を選択し、該サンプリング周波数での相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスとサンプリング周波数とから相互インピーダンスの近似式を導出し、それを使って上記変換手段の設定した各周波数での相互インピーダンスを算出する算出手段と、

上記算出手段の算出した相互インピーダンスと、上記変換手段の設定した周波数スペクトルとから、モーメント法に従って各要素に流れる電流スペクトルを求めるシミュレーション手段と、

上記シミュレーション手段の求めた電流スペクトルを逆フーリエ変換して出力する逆変換手段とを実現するプログラムが記憶されることを、
特徴とするプログラム記憶媒体。

【請求項18】 電子機器を要素に分割し、周波数が与えられるときに、要素間の相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスと要素の持つ波源とからモーメント法に従って各要素に流れる電流をシミュレートする構成を採るモーメント法を用いたシミュレーション装置を実現するプログラムが記憶されるプログラム記憶媒体であって、
波源の時系列データを離散化しフーリエ変換することで周波数スペクトルを得て、その全て又は一部の周波数スペクトルと、それが持つ周波数とを処理対象として設定する変換手段と、

上記変換手段の設定した周波数を考慮してサンプリング周波数を選択し、該サンプリング周波数での相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスとサンプリング周波数とから相互インピーダンスの近似式を導出し、それを使って上記変換手段の設定した各周波数での相互インピーダンスを算出する算出手段と、

上記算出手段の算出した相互インピーダンスと、上記変換手段の設定した周波数スペクトルとから、モーメント法に従って各要素に流れる電流スペクトルを求めるとともに、要求に応じて、該電流スペクトルから、電圧スペクトルや電界スペクトルや磁界スペクトルを求めて、その求めたスペクトルの内の要求されるものを出力対象として設定するシミュレーション手段と、

上記シミュレーション手段の設定した出力対象のスペク

(5)

7

トルを逆フーリエ変換して出力する逆変換手段とを実現するプログラムが記憶されることを、
特徴とするプログラム記憶媒体。

【請求項19】 電子機器を要素に分割し、周波数を与えられるときに、要素間の相互インピーダンスを算出して、該相互インピーダンスと要素の持つ波源とからモーメント法に従って各要素に流れる電流をシミュレートする構成を採るモーメント法を用いたシミュレーション装置を実現するプログラムが記憶されるプログラム記憶媒体であって、
波源として、キャリア信号を変調するものが用いられる場合に、該波源を、キャリア信号の周波数と変調信号の周波数とから規定される異なる周波数を持つ3つの波源に分解する分解手段と、
上記分解手段の分解した各波源に対してモーメント法を適用することで、各要素に流れる周波数領域電流を求めるシミュレーション手段と、
上記シミュレーション手段の求めた周波数領域電流から時間領域電流を算出する算出手段とを実現するプログラムが記憶されることを、
特徴とするプログラム記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、モーメント法を使って電子機器から放射される電磁界強度等をシミュレートするモーメント法を用いたシミュレーション装置及びシミュレーション方法と、そのシミュレーション装置を実現するプログラムを記憶するプログラム記憶媒体とに関し、特に、時間領域での電磁界強度等を高速にシミュレートできるようにするモーメント法を用いたシミュレーション装置及びシミュレーション方法と、そのシミュレーション装置を実現するプログラムを記憶するプログラム記憶媒体とに関する。

【0002】

【従来の技術】電子機器に対する社会的規制として、一定のレベル以上の不要な電波やノイズを放射してはならないということがあり、各国の規格で厳しく規定されるようになってきた。

【0003】このような電波規格を満足させるために、シールド技術やフィルタ技術等のような種々の対策技術が用いられるが、これらの対策技術の採用に当たって、それらがどの程度電波を減少できるかを定量的にシミュレートできるようにするシミュレーション技術の開発が必要である。

【0004】また、電子機器に対する社会的規制として、他の電子機器から放射される一定のレベル以下の電波やノイズにより影響を受けてはならないということがあり、各国の規格で厳しく規定されるようになってきた。

【0005】このような電波規格を満足させるために、

8

電子機器がなぜ不要な電波やノイズを放射するのかとか、電波やノイズによってなぜ電子機器が誤動作するのかということを解明できるようにするシミュレーション技術の開発が必要である。

【0006】この後者のシミュレーション技術を構築するためには、時間的に変化する電磁界強度をシミュレートする電磁界強度算出装置が必要となる。しかるに、このような時間的に変化する電磁界強度をシミュレートする電磁界強度算出装置は、実際には実用化されていない。以下、その理由を説明する。

【0007】任意形状の物体から放射される電磁界強度は、物体各部に流れる電流や磁流が分かると、公知の理論式を用いて容易に計算することができる。この電流や磁流は、理論的には、マックスウェルの電磁波方程式を与えられた境界条件の下で解くことで得られる。

【0008】これを解くものとして、モーメント法がある。このモーメント法は、マックスウェルの電磁波方程式から導かれる積分方程式の解法の1つで、物体を小さな要素に分割して電流や磁流の計算を行う手法であり、3次元の任意形状物体を扱うことができる。このモーメント法についての参考文献としては、「H. N. Wang, J. H. Richmond and M. C. Gilreath: "Sinusoidal reaction formulation for radiation and scattering from conducting surface" IEEE TRANSACTIONS ANTENNAS PROPAGATION vol. AP-23 1975」がある。

【0009】一方、電子機器がなぜ不要な電波やノイズを放射するのかとか、電波やノイズによってなぜ電子機器が誤動作するのかということを解明するためには、時間領域の解析が必要である。なぜならば、電子機器を誤動作させるものの多くがパルス状のノイズであり、更に、電子機器の誤動作は内部のIC等の素子の異常動作によることが多く、この素子の異常動作を確認するためには時間的に観測する必要があるからである。

【0010】現状の有力な時間領域解析法として、有限要素法や有限差分法がある。しかしながら、この有限要素法や有限差分法では、時間領域の解析は可能であるものの、伝送線路やケーブルや筐体等のような広範囲な領域からなる電子機器を取り扱うことは困難である。

【0011】すなわち、有限要素法や有限差分法では、解析対象やその周辺の3次元空間を離散化することから、ケーブル端末処理部等の微小部分に合わせて細かく離散化すると、筐体やケーブルを含む空間が広範囲であるため、膨大な離散化数となってコンピュータの内部メモリ容量をオーバーしてしまうからである。逆に、ケーブルや筐体な構造に合わせて大まかに離散化すると、メカニズム上重要な役割を果たすケーブル端末処理部等の効果が解析不可能となる。

【0012】更に、有限要素法や有限差分法では、離散化の座標系としては直交座標系が一般的である。ところが、メカニズム上重要な役割を果たすケーブルやケーブ

(6)

9

ル端末処理部は円筒状の要素からなり、かつ、装置の筐体は任意形状をしている。このことから、解析対象をどのように離散化したらよいのか難しい問題が存在する。

【0013】この点、モーメント法にはそのような問題がなく、伝送線路やケーブルや筐体等のような広範囲な領域からなる電子機器を取り扱うのに適している。すなわち、モーメント法は、境界要素法の一つであり境界面のみを2次元的に離散化するだけでよく、更に、離散化間隔をかなり自由に決定でき、微小部分は細かく、ケーブルや筐体等は大きく離散化できることで、有限要素法や有限差分法に比べて離散化数が極端に少なく済むからである。また、離散化の形状も任意のものが採用できるので、どのように離散化したらよいのかの問題もない。

【0014】そこで、モーメント法を用いて、時間的に変化するノイズ電流やノイズ電圧や電磁界の放射強度をシミュレートしていくという構成を採ることが考えられる。すなわち、時間的に変化する波源が与えられるときに、それを周波数領域に変換し、モーメント法を用いて、その変換した周波数領域で電磁界の放射強度をシミュレートして、それを時間領域に逆変換していくという方法を採用することが考えられる。

【0015】しかしながら、この方法も、従来技術に従っていたのでは実現不可能である。それは、モーメント法は、周波数が与えられると、メッシュ化された要素間の相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションを算出して、それを使って連立方程式を解くことで実行されるが、この相互インピーダンス等の計算時間自体が長いとともに、時間領域から周波数領域に変換するときに、かなりの数の周波数に変換され、それらの各周波数毎に相互インピーダンス等の計算を実行しなければならないことから、膨大な処理時間が必要となるからである。

【0016】すなわち、モーメント法で電磁界の放射強度を算出する場合には、図45の処理フローに示すように、メッシュ化されたシミュレーション対象の電子機器の構造情報を読み込むと、計算対象の周波数の中から未処理の周波数を1つ選択し、その周波数について、メッシュ化された要素間の相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションを所定の計算処理によって求め、その求めた相互インピーダンス等と構造情報で指定される波源とをモーメント法の連立方程式に代入し、それを解くことで各要素に流れる電流や磁流を求めて、それらを使って、各観測点毎に、電磁界の放射強度を算出していく処理を行っていくことになるが、この相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションの算出に非常な時間がかかり、しかも、それを周波数領域の各周波数について計算しなければならないことから、実用的な時間では実行できないのである。

【0017】具体的に言うと、1つの周波数に対して、

10

モーメント法の連立方程式を解く時間が数分のオーダーであるのに対して、相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションを計算する時間は数時間のオーダーとなる。これを周波数領域の各周波数について計算しなければならないことから、とても実用的な時間では実行できない。

【0018】なお、相互インピーダンスは、ある要素の電流が誘起する電界と、他の要素の電流との間の関係を表し、相互アドミッタンスは、ある要素の磁流が誘起する磁界と、他の要素の磁流との間の関係を表し、相互リアクションは、ある要素の電流（磁流）が誘起する磁界（電界）と、他の要素の磁流（電流）との間の関係を表す。金属には電流が流れ、誘電体の表面には電流及び磁流が流れる。

【0019】以上に説明したことから分かるように、時間的に変化する電磁界強度をシミュレートする電磁界強度算出装置は、現在、プリント板やケーブルや筐体を含む装置レベルの解析までは実用化されていないというのが実情である。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】モーメント法による電磁界の放射強度の算出を実用的なものとするために、本発明者は、先に出願の特願平7-298062号で、モーメント法の高速処理を実現する発明を開示した。

【0021】この発明では、周波数を f 、波数を k （ $=2\pi f/c$ 、 c は光速）、要素間の基本距離を r_0 で表すならば、モーメント法で分割する要素 i と要素 j との間の相互インピーダンス Z_{ij} が、

$$Z_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f^{-1} + b_1 f + b_2 f^3 + b_3 f^5 + b_4 f^7 + \dots)]$$

というように周波数の巾乗の多項式で近似でき、相互アドミッタンス Y_{ij} が、

$$Y_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f^{-1} + b_1 f + b_2 f^3 + b_3 f^5 + b_4 f^7 + \dots)]$$

というように周波数の巾乗の多項式で近似でき、相互リアクション B_{ij} が、

$$B_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f + b_1 f^3 + b_2 f^5 + b_3 f^7 + b_4 f^9 + \dots)]$$

というように周波数の巾乗の多項式で近似できることに着目する。

【0022】そして、先ず最初に、いくつかのサンプリング周波数について、正確な計算手法に従って、相互インピーダンス Z_{ij} や相互アドミッタンス Y_{ij} や相互リアクション B_{ij} を計算し、それを上記の近似式に代入することで、それらの夫々に対して、係数 a_p 、 b_p を求める連立方程式を作成して、それを解くことで係数 a_p 、 b_p を求める。そして、その後、サンプリング周波数以外の

(7)

11

周波数が与えられるときには、その係数 a_p , b_p により規定される上記の近似式を使って、相互インピーダンス Z_{ij} や相互アドミッタンス Y_{ij} や相互リアクション B_{ij} を計算することで、モーメント法の高速処理を実現するものである。

【0023】なお、サンプリング周波数の個数は、係数 a_p , b_p をどこまで求めるのかで決まる。例えば、サンプリング周波数を5つとするときには、「 $a_0 \sim a_4$, $b_0 \sim b_4$ 」という係数 a_p , b_p まで求まることになる。

【0024】この発明を使うと、相互インピーダンス Z_{ij} や相互アドミッタンス Y_{ij} や相互リアクション B_{ij} を極めて高速に計算できることで、モーメント法を極めて高速に実行できるようになることから、時間的に変化する波源が与えられるときに、それを周波数領域に変換し、モーメント法を用いて、その変換した周波数領域で各要素の電流や電圧や電磁界の放射強度をシミュレーションして、それを時間領域に逆変換していくという方法を用いることが実用上可能になる。

【0025】これにより、電子機器がなぜ不要な電波やノイズを放射するのかとか、電波やノイズによってなぜ電子機器が誤動作するのかということを解明できるようになる。

【0026】本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、本発明者が先に出願した特願平7-298062号の発明を利用することで、時間的に変化する電磁界強度等を高速にシミュレーションできるようにする新たなモーメント法を用いたシミュレーション装置及びシミュレーション方法の提供と、そのシミュレーション装置を実現するプログラムを記憶するプログラム記憶媒体の提供とを目的とする。

【0027】

【課題を解決するための手段】図1及び図2に本発明の原理構成を図示する。図中、1は本発明を具備するシミュレーション装置であって、電子機器を要素に分割し、周波数が与えられるときに、要素間の相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションを算出して、それらと要素の持つ波源とからモーメント法に従って各要素に流れる電流や磁流をシミュレートするものである。

【0028】図1に原理構成を図示する本発明のシミュレーション装置1は、管理手段10と、変換手段11と、算出手段12と、シミュレーション手段13と、逆変換手段14とを備える。

【0029】この管理手段10は、要素に分割されたシミュレーション対象の電子機器の構造情報を管理する。変換手段11は、波源の時系列データを離散化しフーリエ変換することで周波数スペクトルを得て、その全て又は一部の周波数スペクトルと、それが持つ周波数とを処理対象として設定する。

【0030】算出手段12は、変換手段11の設定した

12

周波数を考慮してサンプリング周波数を選択する選択手段15と、選択手段15の選択したサンプリング周波数での相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションを算出する第1の計算手段16と、サンプリング周波数と第1の計算手段16の算出した相互インピーダンスとから相互インピーダンスの近似式を導出したリ、サンプリング周波数と第1の計算手段16の算出した相互アドミッタンスとから相互アドミッタンスの近似式を導出したリ、サンプリング周波数と第1の計算手段16の算出した相互リアクションとから相互リアクションの近似式を導出する導出手段17と、導出手段17の導出した近似式を使って、変換手段11の設定した各周波数での相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションを算出する第2の計算手段18とを備える。

【0031】シミュレーション手段13は、算出手段12の算出した相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションと、変換手段11の設定した周波数スペクトルとから、モーメント法に従って各要素に流れる電流スペクトルや磁流スペクトルを求めるとともに、要求に応じて、その電流スペクトルや磁流スペクトルから、電圧スペクトルや電界スペクトルや磁界スペクトルを求めて、その求めたスペクトルの内の要求されるものを出力対象として設定する。逆変換手段14は、シミュレーション手段13の設定した出力対象のスペクトルを逆フーリエ変換することで時間領域に変換して出力する。

【0032】ここで、シミュレーション手段13は、電流スペクトルや磁流スペクトルを求めるだけの処理を行うことがある。このときには、図示しない手段が、逆変換手段14の出力する時間領域の電流や磁流から、直接、時間領域の電圧や電界や磁界を求めることになる。

【0033】この本発明のシミュレーション装置1の持つ機能は具体的にはプログラムで実現されるものであり、このプログラムは媒体で提供され、計算機にインストールされてメモリ上で動作することで、本発明のシミュレーション装置1を実現することになる。

【0034】このように構成される図1に原理構成を図示する本発明のシミュレーション装置1では、変換手段11が、波源の時系列データを離散化しフーリエ変換することで周波数スペクトルを得て、その全て又は一部の周波数スペクトルと、それが持つ周波数とを処理対象として設定すると、選択手段15は、変換手段11の設定した周波数を考慮してサンプリング周波数を選択し、第1の計算手段16は、選択手段15の選択したサンプリング周波数での相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションを正確なアルゴリズムに従って算出する。

【0035】そして、導出手段17は、相互インピーダンス Z_{ij} を、例えば、

50

(8)

$$Z_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f^{-1} + b_1 f + b_2 f^3 + b_3 f^5 + b_4 f^7 + \dots)]$$

但し、 f : 周波数、 k : 波数、 r_0 : 要素 i と要素 j との間の距離と近似して、この近似式に、サンプリング周波数と第1の計算手段16の算出した相互インピーダンスとを代入することで、係数 a_p 、 b_p を未知数とする連立方程式を作成し、それを解くことでこの近似式を求める。

$$Y_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f^{-1} + b_1 f + b_2 f^3 + b_3 f^5 + b_4 f^7 + \dots)]$$

但し、 f : 周波数、 k : 波数、 r_0 : 要素 i と要素 j との間の距離と近似して、この近似式に、サンプリング周波数と第1の計算手段16の算出した相互アドミッタンスとを代入することで、係数 a_p 、 b_p を未知数とする連立方程式を作成し、それを解くことでこの近似式を求める。

$$B_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f + b_1 f^3 + b_2 f^5 + b_3 f^7 + b_4 f^9 + \dots)]$$

但し、 f : 周波数、 k : 波数、 r_0 : 要素 i と要素 j との間の距離と近似して、この近似式に、サンプリング周波数と第1の計算手段16の算出した相互リアクションとを代入することで、係数 a_p 、 b_p を未知数とする連立方程式を作成し、それを解くことでこの近似式を求める。

【0038】このようにして、相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションの近似式が導出されると、第2の計算手段18は、それらの近似式を使って、変換手段11の設定した各周波数での相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションを算出し、これを受けて、シミュレーション手段13は、この算出された相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションと、変換手段11の設定した周波数スペクトルとから、モーメント法に従って各要素に流れる電流スペクトルや磁流スペクトルを求める。

【0039】そして、シミュレーション手段13は、この求めた電流スペクトルや磁流スペクトルから、シミュレーションの要求される電流スペクトルを特定したり、シミュレーションの要求される電圧スペクトルや電界スペクトルや磁界スペクトルを求めて、そのスペクトルを出力対象として設定し、逆変換手段14は、この設定されたスペクトルを逆フーリエ変換することで時間領域に変換して出力する。

【0040】このようにして、図1に原理構成を図示する本発明のシミュレーション装置1では、相互インピーダンスや相互アドミッタンスや相互リアクションを近似

14

式を使って極めて高速に算出する構成を採ることから、時間的に変化する波源が与えられるときに、それを周波数領域に変換し、モーメント法を用いて、その変換した周波数領域で電磁界強度等をシミュレートして、それを時間領域に逆変換していくという方法を採ることが可能になる。

【0041】これから、この本発明のシミュレーション装置1を用いることで、電子機器に対する波源の影響を時間領域でシミュレートできるようになるため、電子機器がなぜ不要な電波やノイズを放射するのかとか、電波やノイズによってなぜ電子機器が誤動作するのかということを解明できるようになる。

【0042】一方、図2に原理構成を図示する本発明のシミュレーション装置1は、管理手段20と、分解手段21と、シミュレーション手段22と、算出手段23と、計算手段24とを備える。

【0043】この管理手段20は、要素に分割された電子機器の構造情報を管理する。分解手段21は、波源として、キャリア信号を変調するものが用いられる場合に、それを、キャリア信号の周波数と変調信号の周波数とから規定される異なる周波数を持つ3つの波源に分解する。シミュレーション手段22は、各要素に流れる周波数領域電流や周波数領域磁流をシミュレートする。

【0044】算出手段23は、時間領域電流を算出したり、時間領域磁流を算出したりする。計算手段24は、算出手段23の求めた時間領域電流や時間領域磁流から、要求される時間領域の電流や電圧や電界や磁界を算出する。

【0045】この本発明のシミュレーション装置1の持つ機能は具体的にはプログラムで実現されるものであり、このプログラムは媒体で提供され、計算機にインストールされてメモリ上で動作することで、本発明のシミュレーション装置1を実現することになる。

【0046】このように構成される図2に原理構成を図示する本発明のシミュレーション装置1では、分解手段21は、波源として、キャリア信号を変調するものが用いられる場合に、それを、キャリア信号の周波数と変調信号の周波数とから規定される異なる周波数を持つ3つの波源に分解し、これを受けて、シミュレーション手段22は、分解手段21の分解した各波源に対してモーメント法を適用することで、各要素に流れる周波数領域電流や周波数領域磁流をシミュレートする。

【0047】このシミュレート結果を受けて、算出手段23は、シミュレーション手段22の求めた周波数領域電流から時間領域電流を算出したり、シミュレーション手段22の求めた周波数領域磁流から時間領域磁流を算出する。そして、計算手段24は、算出手段23の求めた時間領域電流や時間領域磁流を合成したり、合成後の時間領域電流や時間領域磁流を使って時間領域の電圧等を求めたり、合成前の時間領域電流や時間領域磁流を使

50

(9)

15

って時間領域の電圧等を求めてそれらを合成することで、時間領域の電流や電圧や電界や磁界を算出する。

【0048】このようにして、キャリア信号を変調する波源については、図1に原理構成を図示する本発明のシミュレーション装置1に従って、波源の時系列データを離散化しフーリエ変換することで周波数スペクトルを得る構成を採っていたのでは、離散化数が極端に多くなってしまう。これから、キャリア信号を変調する波源については、そのような方法を用いずに、図2に原理構成を図示する本発明のシミュレーション装置1を用いることで、モーメント法に従って簡単に、各要素に流れる時間領域電流や時間領域磁流を求めることができるようになる。

【0049】

【発明の実施の形態】以下、実施の形態に従って本発明を詳細に説明する。本発明者は、先に出願の特願平7-298062号で、モーメント法による電磁界強度の算出を極めて高速に実現する方法を開示した。

【0050】この方法では、要素iと要素jとの間の相互インピーダンス Z_{ij} を、

$$Z_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f^{-1} + b_1 f + b_2 f^3 + b_3 f^5 + b_4 f^7 + \dots)]$$

というように近似し、要素iと要素jとの間の相互アドミッタンス Y_{ij} を、

$$Y_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f^{-1} + b_1 f + b_2 f^3 + b_3 f^5 + b_4 f^7 + \dots)]$$

というように近似し、要素iと要素jとの間の相互リアクション B_{ij} を、

$$B_{ij} = e^{-jkr_0} [(a_0 + a_1 f^2 + a_2 f^4 + a_3 f^6 + a_4 f^8 + \dots) + j(b_0 f + b_1 f^3 + b_2 f^5 + b_3 f^7 + b_4 f^9 + \dots)]$$

というように近似する構成を採っている。ここで、 f は周波数、 k は波数($k = 2\pi f/c$, c は光速)、 r_0 は要素間の基本距離である。

【0051】次に、相互インピーダンス Z_{ij} が、このような周波数の多項式で近似できることについて説明する。相互インピーダンス Z_{ij} の近似式について説明するために、図3に示すようなモノポールを考える。図中、太線はモノポールを示し、点線は後述する展開関数 J_1 、 J_2 の形状を示す。ここで、モノポール①とモノポール③との傾きを ϕ_1 とし、モノポール①とモノポール④と*

$$\begin{aligned} r &= [r_0^2 + (r^2 - r_0^2)]^{1/2} = (r_0^2 + \Delta)^{1/2} = r_0(1 + \Delta/r_0^2)^{1/2} \\ &\approx r_0(1 + \Delta/2r_0^2 - \Delta^2/8r_0^4 + \dots) \\ &= r_0 + \Delta/2r_0 - \Delta^2/8r_0^3 + \dots = r_0 + d \end{aligned}$$

ここで、 $r_0 = (z_1^2 + t_1^2 - 2z_1 t_1 \cos \phi + h^2)^{1/2}$ と近似できる。

【0058】これから、相互インピーダンス Z_{13} 及び Z_{14} は、図5(b)に図示する数式のように表される。こ

16

*の傾きを ϕ_2 とする。

【0052】相互インピーダンス Z_{ij} の一般式は、図4(a)に図示する数式で表される。ここで、 ω は角周波数、 r は距離、 $\rho_1 = -1/j\omega \times \partial J_1 / \partial t$ 、 $\rho_2 = -1/j\omega \times \partial J_2 / \partial t$ である。また、 s を用いているのは、モノポールの形状が線状(ワイヤー)である場合に限らず、モノポールの形状が面状(サーフェスパッチ)である場合も考慮しているからである。

【0053】 J_1 及び J_2 は、モーメント法における展開関数である。この展開関数は、モノポール上の電流分布の形状を表す。展開関数は、モーメント法の種類によって異なるが、以下の証明はいずれのモーメント法にも適用できる。即ち、展開関数は正弦波状電流、三角形状電流、パルス関数電流のいずれでも良い。また、以下の証明は、モノポールの形状は線状あるいは面状のいずれにも適用できる。ここでの証明は、区分正弦波モーメント法で行う。なお、図3では、便宜上、展開関数を点線により三角形状に表してあるが、以下の説明における展開関数は正弦波状電流である。

【0054】区分正弦波モーメント法において、図3のモノポール①～④の展開関数は、次のように表すことができる。ここで、 d_1 はモノポール①の長さ、 d_2 はモノポール②の長さ、 d_3 はモノポール③の長さ、 d_4 はモノポール④の長さである。

【0055】

電流モノポール① $J_1 = \text{sinc}(z - z_0) / \text{sinc} d_1$

電流モノポール② $J_1 = \text{sinc}(z_2 - z) / \text{sinc} d_2$

電流モノポール③ $J_2 = \text{sinc}(t - t_0) / \text{sinc} d_3$

電流モノポール④ $J_2 = \text{sinc}(t_2 - t) / \text{sinc} d_4$

これらの展開関数を用いて、先ず、モノポール①とモノポール③の相互インピーダンス Z_{13} と、モノポール①とモノポール④の相互インピーダンス Z_{14} を求める。この相互インピーダンス Z_{13} 及び Z_{14} は、図4(b)に図示する数式のように表される。

【0056】ここで、モノポール間の距離 $r = (z^2 + t^2 - 2z_1 t_1 \cos \phi + h^2)^{1/2}$ を考慮すると、これらの相互インピーダンス Z_{13} 及び Z_{14} の係数部は、図5(a)に図示する数式のように表される。なお、 $\alpha = c\mu/4\pi$ である。

【0057】更に、モノポール間の距離 r は、一方のモノポールの端点と他方のモノポールの端点との間の距離を r_0 で表すならば、

ここで、 $A_1 = \text{sinc} d_1 \text{sinc} d_3$ である。この数式を簡潔な形にするために、 $z - z_0 = u$ 、 $t - t_0 = v$ 、 $w = -t + t_2$ とおく。また、モノポールが短いものとして、
 $\text{sinc} u \approx ku - (ku)^3/6$ $\cos ku \approx 1 - (ku)^2/2$

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.